

CERRAMIENTOS MULTICAPA LIGEROS EN EL CONCURSO SOLAR DECATHLON 2007

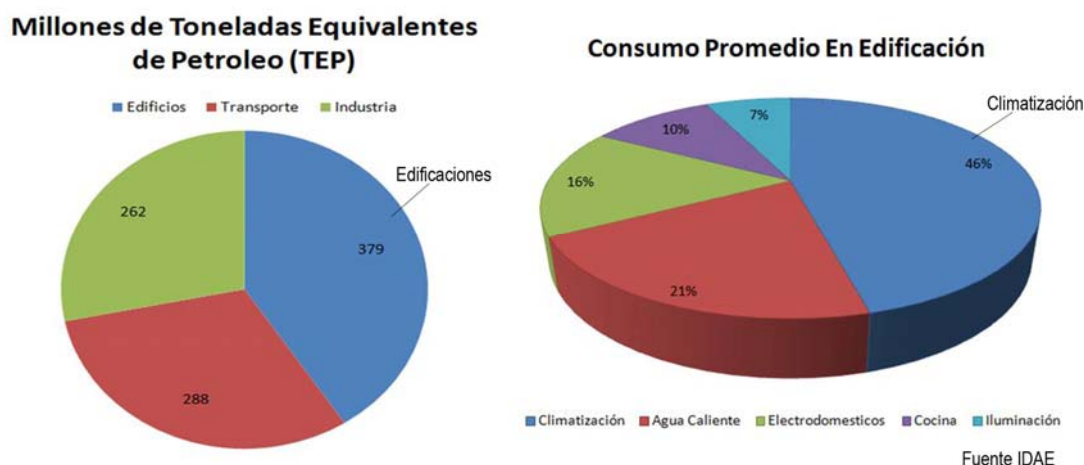
*Ruiz Valero, Letzai *. Arranz Arranz, Beatriz. Gómez Aparicio, Eva. Rodríguez Ubiñas, Edwin. Cronemberger, Joara. Vega Sánchez, Sergio. Adell, José María. García Santos, Alfonso.*

UPM.ETSAM.

I. INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de consumo energético en todos los sectores, siendo el caso particular el de las edificaciones que consumen una tercera parte del consumo total. Todo ello surge como consecuencia del crecimiento económico y del aumento de las exigencias de las condiciones de confort, además de utilizar energías fósiles.

Si se estudia el consumo energético en las edificaciones, se puede ver que el mayor consumo se genera en climatización con un 46%, luego el agua caliente con 21%, electrodomésticos 16%, cocina 10% e iluminación 7%.



Gráfica 1. Consumos energéticos

Desde la década de los setenta, ha surgido una creciente demanda social por un **crecimiento sostenible**, originado por una parte por la crisis energética iniciada con el conflicto de Medio Oriente y por otra parte por un cada vez mayor y mejor análisis de la repercusión en el ambiente de nuestras actividades.

Esto ha llevado a actuaciones de ámbito mundial como son:

- El **Protocolo de Montreal, AGENDA 21**, propone el desarrollo de las energías renovables, disminuir los impactos sobre la salud y el medio ambiente de la producción y consumo de energía y el fomento de una educación hacia el desarrollo sostenible.
- El **Programa 21 de la ONU**, plantea el control de aquellas sustancias que producen el agotamiento de la capa de ozono.
- El **Protocolo de Kyoto**, cuyo objetivo es la disminución de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, en especial del CO₂.

Dando respuesta a estas actuaciones mundiales la Unión Europea ha desarrollado normativas, tendentes a la mejora de la eficiencia energética y a la seguridad y diversificación de los suministros. Así ha desarrollado: La Directiva 93/76 de 13.09.93 (SAVE), El Libro Verde, La Directiva 2002/91.

En España las actuaciones se han presentado con: **Código Técnico de la Edificación, Documento Básico “Ahorro de Energía”** y **Real Decreto 47/2007**, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios. Este certificado deberá incluir información objetiva sobre las características energéticas de los edificios de forma que se pueda valorar y comparar su eficiencia energética, con el fin de favorecer la promoción de edificios de alta eficiencia energética y las inversiones en ahorro de energía.

Como respuesta a toda esta serie de normativas para la mejora del consumo energético se tiene, por un lado es el empleo de las **energías renovables**, como la solar fotovoltaica, solar térmica, eólica, hidráulica, biomasa, geotérmica,... y por otro mejorar el diseño y construcción de los edificios usando **cerramientos eficientes**, como los **multicapa** y aún mejor los **multicapa ligeros**, ya que generan mejores prestaciones en término de confort y ahorro energético.



Imagen 1. Energías Renovables

II. ANÁLISIS DEL CERRAMIENTO

Funciones del cerramiento

En general, los cerramientos constituyen la envolvente (cerramientos opacos y transparentes) de los espacios habitables, definiendo su geometría (forma y volumen) tanto exterior como interior. La envolvente tiene que ser capaz, por una parte, de **proteger** y **aislar**, de los agentes exteriores los ambientes que delimita y, por otra, de definir espacios interiores con el suficiente nivel de confort. A su vez, también puede tener la capacidad de **almacenar** la energía.

PROTECCIÓN de las acciones exteriores:

- **Acciones mecánicas:** el peso propio de los cerramientos, el viento, la nieve, las personas, dilataciones y contracciones higrotérmicas.
- **Acciones físicas:** el agua de lluvia, el vapor de agua, la radiación solar: la luminosa, la infrarroja; el ruido, las vistas a través del cerramiento.
- **Acciones químicas:** la contaminación atmosférica, la corrosión, los organismos, el fuego

AISLAMIENTO, la fachada debe actuar como filtro de los agentes naturales para facilitar la obtención de un adecuado nivel de confort en los locales que encierra. Ello implica las siguientes condiciones:

- **Resistencia térmica**, relacionada con la calefacción y la refrigeración (proporcionar abrigo y aislamiento y moderar los cambios bruscos de temperatura mediante el uso de hojas aislantes y cámaras de aire ventiladas).
- **Resistencia al ruido.**
- **Ventilación natural**, a través de las ventanas practicables, para obtener la necesaria higiene.
- **Iluminación natural**, control de soleamiento para evitar calor y deslumbramiento.
- **Control de vistas:** desde el interior y el exterior.
- **Control de paso de personas:** usuarios, a los que hay que facilitar el paso. Intrusos, a los que hay que impedir el paso.

ALMACENAMIENTO, uso de materiales que tengan las propiedades de inercia térmica, capacidad del cerramiento para almacenar y devolver la energía calorífica. Empleo de materiales de cambio de fase, tanto en forjados como en cerramientos verticales.

Evolución del cerramiento

La necesidad de crear una mayor protección climática y un ámbito de privacidad, lo hacen algunos pueblos primitivos de forma literal, ya que emplean la propia piel de los animales en la creación de habitáculos, como hacen los tuaregs en el Sahara, los indios americanos o los beduinos del desierto, que tejen sus tiendas con pelo de cabra o de camello. También las fibras vegetales en forma de tallos, hojas o ramas, sirven al hombre en sus estados primarios para hacer chozas o cabañas.

Todas estas técnicas de construcción ligera tienen poco papel en el desarrollo de la arquitectura mundial por su fragilidad, y lo que se hace durante muchos años es una arquitectura de muros de carga compuesta por materiales pesados que forman el sistema estructural a la vez que el cerramiento.

Como por ejemplo, el uso de la piedra como material de cerramiento cumplía con la función de proteger al individuo de las inclemencias del clima, sin embargo la función de aislar se pone en duda si cumplía con las condiciones de confort que actualmente se deberían tener; no obstante, la función de almacenar la energía se cumple por las propiedades del material. Así mismo, en paralelo se desarrolla también el adobe y el ladrillo como cerramientos.

Sin embargo es en la Edad Media cuando es ideado el movimiento constructivo como el gótico, que separa las funciones protectoras de la piel de las sustentantes de la osamenta.

Este sistema constructivo desapareció y fue sustituido por otros estilos. No obstante tras tantos siglos de arquitectura masiva vuelve a aparecer las construcciones ligeras con un nuevo gótico, ahora replanteado por el teórico Viollet Le Duc, contando con un material que viene a revolucionar la historia de la construcción como es el hierro. Los muros desaparecen como tales, para convertirse en rejillas formadas por vigas y soportes que propician la idea de crear fachadas ligeras. El primer gran ejemplo de construcción ligera del siglo XIX es el Crystal Palace de Joseph Paxton, gigantesco invernadero creado para la Exposición de Londres de 1851.

A principios del siglo XIX con el nacimiento tecnológico del cemento Portland se desarrollan los cerramientos de hormigón, teniendo como origen las obras de fábrica de piedra. Pero es durante la segunda mitad del siglo XX donde la fábrica de bloque se consolida como un sistema constructivo, alternativo a los tradicionales de arcilla o piedra.

También, en el siglo XIX se crea una importante construcción industrializada y en los que aparecen los antecedentes de los paneles de cierre ligeros. El primer edificio conocido que utiliza la chapa de hierro en sus fachadas es el almacén naval de Sheerness, construido en 1858 por el ingeniero G.T. Greene. Tiene unos cerramientos sencillos en los que alternan cuatro niveles de bandas de vidrio con sus respectivos antepechos de planchas nervadas.

En Estados Unidos no se buscaba la creación de una nueva tipología de muro sino una imitación de la apariencia de las construcciones en piedra, como es el caso de la factoría de James Bogardus en Nueva York, de 1848, en donde consiguen sintetizar las líneas de unas fachadas ligeras de chapa y vidrio. Ejemplos de ello son el Reliance Building de Burnham y Root, rascacielo de 15 pisos construido en Chicago en 1895.

El concepto de fachada ligera ya estaba creado al finalizar el siglo XIX, pero se asociaba exclusivamente con el vidrio. Tienen que pasar varias décadas para que se clarifique la idea de la moderna construcción reticular, en la que se dispone un esqueleto estructural cerrado y compartimentado, con piezas superficiales que actúan como membranas y que pueden ser transparentes u opacas.

A lo largo del siglo XX se crean nuevos productos químicos por la necesidad de cumplir las funciones de aislamiento térmico y acústico, que permite reducir grosores de fachadas.

En 1922 Le Corbusier habla de su casa Citrohan, que fue realizada en la Weissenhof en 1927 mediante técnicas convencionales. En el mismo lugar Walter Gropius proyecta su casa con muros exteriores de fibrocemento de 6 cm de ancho rellenos de corcho prensado y enlazados por perfiles metálicos.

En 1939 Le Corbusier presenta otro proyecto de casas en el que habla de “montaje en seco”, es decir, a base de elementos constructivos prefabricados que se montan sin necesidad de argamasa.

Ya en 1938 el constructor arquitecto Jean Prouvé levanta la Maison du Peuple en Clichy con paneles concebidos como elementos monobloc de chapa plegada y soldada, unidos mediante juntas elásticas que se adaptan a las dilataciones. En ese mismo año plantea unas naves desmontables ligeras en las que emplea paneles de madera que después se comercializan como “Paneles Rosseau” y que se aplican en sus casas prefabricadas.

En 1956, idea Prouvé una casa para un programa de alojamiento social, naciendo de este modo la conocida Maison de l'Abbé Pierre. Esta casa usaba paneles con marco de madera endurecida, alma aislante de espuma plástica y paramentos de contrachapado baquelizado, similares a los empleados en las casas Dollander, Prouvé, Bosquet, Saint Dié, Sorcy y Beauvallon, que por las mismas fechas fueron construidas con paneles sándwich semiportantes de madera – metal, en los que la cara interior es de madera de okume y la exterior de chapa de aluminio estriada, alojándose entre ellas un relleno de 6 cm de poliéster expandido. Jean Prouvé detecta problemas que se centran en temas como juntas, puentes térmicos, plegado de chapa o ensamblaje de las piezas.

Richard Rogers proyectó en 1969 una casa para el concurso DuPont, formada por un caparazón de paneles autoportantes de espuma de PVC, similares en paredes y techo, redondeado los ángulos.

En Estados Unidos Richard Buckminster Fuller en 1929 inventa un prototipo de casa experimental Dymaxion, en el que emplea paneles huecos de doble vidrio, transparentes u opacos.

En 1931, Kocher y Frei levantan la Aluminaire House, en donde sus paredes no son estructurales y están formadas por unos perfiles de acero y madera a los que se adosan dos tableros aislantes, estando el exterior cubierto con papel embreado y chapa de aluminio ondulado. Cuatro años después, los mismos arquitectos construyen otra casa en Long Island, pero esta vez con tablas machihembradas de madera de secoya que se revisten interiormente de una membrana aislante de papel de aluminio y exteriormente con un lienzo de lona pintada.

En los Años 40 se desarrollan las casas de la United States Armco Steel Corporation, construidas con paneles nervados de acero galvanizado y prelacado, reforzados interiormente con perfiles del mismo material, y con el interior revestido con espuma de vidrio.

Un caso singular fue la casa de los diseñadores Charles y Ray Eames, levantada en Santa Mónica dentro del programa de casas experimentales patrocinado por la revista Arts and Architecture. Sus autores emplearon para los cerramientos paneles de contrachapado lacados, amianto-cemento y vidrio. Tras estos inicios y experiencias aisladas surgen las patentes y los paneles sandwich se generalizan.

En 1972, James Stirling proyecta el centro de Adiestramiento de Olivetti en Haslemere, construido con piezas prefabricadas de resina de poliéster reforzado con fibra de vidrio, éste es uno de los ejemplos más conocidos de edificios con cobertura de plástico.

En 1974 Norman Foster construye el Sainsbury Arts Center para la Universidad de East Anglia, que se cierra mediante paneles modulares de aluminio estriado con junta drenante.

En la actualidad el uso de cerramientos multicapa ligeros es cada vez más usado, ya que tienen mejores prestaciones energéticas y crean las condiciones de confort requeridas por el nuevo Código Técnico de la Edificación.

Cerramientos Multicapa Ligeros

Hay que destacar que en esta investigación se estudian los **cerramientos opacos**, tanto de forjado, como cerramiento vertical (fachada) y cubierta.

Los cerramientos multicapa ligeros se caracterizan principalmente por su poco espesor y su poco peso, a la vez que están formados por una multiplicidad de capas especializadas, separadas o no por una cámara de aire, que en algunos casos puede estar trasdosada por un muro realizado con un material más pesado.

La elección y configuración formal de los componentes que conforman la envolvente exterior del edificio, determinan la capacidad térmica del edificio, su respuesta frente a las variaciones térmicas exteriores susceptible de generar ganancias y pérdidas de calor en el edificio y las posibles estrategias pasivas de ahorro energético a utilizar a lo largo del ciclo térmico anual.

Las posibles capas que componen el cerramiento se señalan a continuación, además de una imagen en donde se puede ver los diversos tipos de materiales, sin embargo, la ubicación de las mismas depende del diseño.

- **Estructura principal o secundaria**, puede ser de acero conformado en frío (steel frame), madera,...
- **Acabado exterior**, madera, aluminio, cobre, plástico,...
- **Estructuras auxiliares**, acero inoxidable, aluminio,...
- **Láminas impermeabilizantes**.
- **Aislamientos térmicos y acústicos**, fibras naturales, paneles de poliuretano (paneles tipo sándwich), reflectivos...
- **Barreras de vapor**, deben colocarse siempre del lado caliente del cerramiento.
- **Tableros** de madera, OSB aglomerados, reciclados,...
- **Acabados interiores**, madera, plásticos, aluminio, paneles de yeso, reciclados, textil,...



Imagen 2. Materiales

El uso de materiales de construcción que prevengan el sobrecalentamiento en verano y mantengan el confort térmico a lo largo del invierno implica la comprensión de las condiciones ambientales y geofísicas, así como de los criterios de uso propuestos para cada proyecto específico y necesidades térmicas asociadas.

III. CASOS DE ESTUDIO

El Grupo TISE (Técnicas Innovadoras y Sostenibles en la Edificación) en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid de la UPM está desarrollando líneas de investigación, dentro de las cuales se encuentra la de CARACTERIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE CERRAMIENTOS, CUBIERTA Y SUELOS PANELIZADOS LIGEROS y dentro de ésta se halla la Sub línea: OPTIMIZACIÓN DEL CERRAMIENTO MULTICAPA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, la cual es la que se está desarrollando en este artículo.

El estudio parte del Concurso SOLAR DECATHLON 2007 organizado por el Departamento de Energía de Estados Unidos en Washington, en el que participan 20 universidades de todo el mundo. Participaron dos universidades europeas: una alemana y la Universidad Politécnica de Madrid, además de 18 universidades americanas: Canadá, Puerto Rico y Estados Unidos. En la siguiente imagen la villa solar en el Mall.



Imagen 3. Villa Solar

La Universidad Politécnica de Madrid ha construido dos prototipos de Casa Solar. Una que ha participado, con el objetivo de sensibilizar a los usuarios en las necesidades de un uso eficiente y sostenible de la energía en las viviendas, en dos eventos de la máxima relevancia social y política: El SIMA, Salón Inmobiliario de Madrid, y el evento ESPAÑA SOLAR organizado por el Gobierno de España; y la Otra que fue al Certamen Internacional SOLAR DECATHLON 2007, organizado por el Departamento de Energía de Estados Unidos

El concurso consiste en diseñar y construir un prototipo autosuficiente energéticamente y dotado de todas las tecnologías que permitan la máxima eficiencia energética. Las casas tienen que realizar 10 pruebas, por ello se debe su nombre decathlon: 1. Arquitectura, 2. Ingeniería, 3. Capacidad Comercial, 4. Comunicación, **5. Confort**, 6. Funcionamiento Electrodomésticos, 7. Agua Caliente, 8. Iluminación, 9. Balance Energético, 10. Movilidad (Coche Eléctrico).

En este caso nos centraremos en la prueba de Confort, que consiste en mantener la casa en unos rangos de **Temperatura** entre 22,2 y 24,4 °C y **Humedad relativa** entre 40 y 55 %.

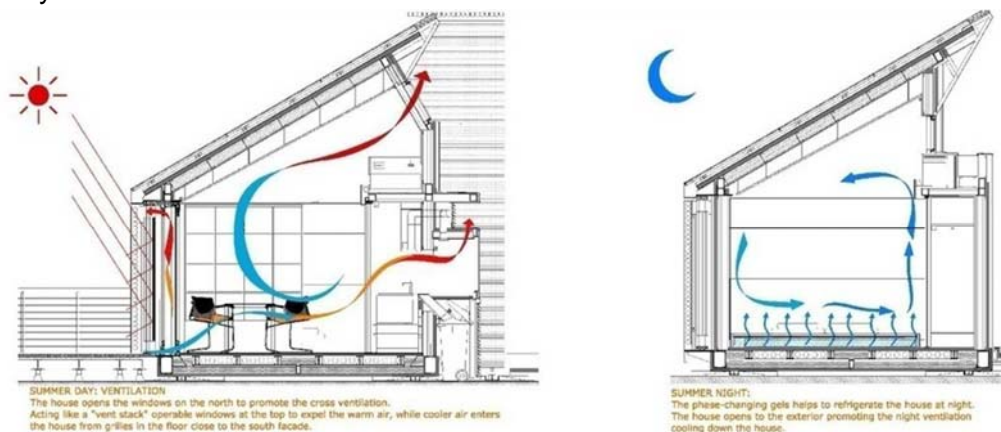


Imagen 4. Estrategias bioclimáticas del prototipo de la UPM

Criterios de Selección

Como se tienen 20 prototipos de viviendas, se seleccionarán 5 casos de estudio, tomando en cuenta para ello los siguientes criterios de selección:

1. Que se encuentren dentro de las **10** primeras de la **clasificación general**, ver siguiente tabla.

Universidad	Posición
Darmstadt	1
Maryland	2
Santa Clara	3
Penn State	4
Madrid	5
Georgia Tech	6
Colorado	7
Montreal	8
Illinois	9
Texas	10

Tabla 1. Resultados finales clasificación general

2. Las **10** primeras de la clasificación de la **prueba de confort**,

UNIVERSIDAD	POSICIÓN
Illinois	1
Montreal	2
Texas at Austin	3
Maryland	4
Santa Clara	5
Missouri – Rolla	6
UPM	7
New York	8
Texas A&M	9
Darmstadt	10

Tabla 2. Resultados prueba de confort

3. Según los **tipos de sistema** y/o **composición** de los cerramientos.

Partiendo de esos criterios, se escogieron 5 casas, las cuales son: 1. Technische Universität Darmstadt, 2. University of Maryland, 3. Universidad Politécnica de Madrid, 4. Team Montreal (École de Technologie Supérieure, Université de Montreal, McGill University, 5. University of Illinois at Urbana-Champaign.



Imagen 5. Casas de Estudio

Composición de cerramientos

Se han desarrollado unas fichas, en las cuales se tiene información sobre cuál es la universidad, tipo de cerramiento, descripción de cada uno de los materiales que componen las capas, detalle del cerramiento y notas.

Se va a analizar la composición de los cerramientos multicapa ligeros en los casos de estudio, desde el forjado, pasando por los cerramientos verticales (fachada), hasta la cubierta. Sin embargo en este artículo, sólo se desarrollarán los cerramientos verticales (fachada).

Cerramientos Verticales (fachada). En los prototipos existe más de un tipo de composición de fachada, no obstante, en este caso se desarrollará la principal, que forma la mayor parte. A continuación, las fichas con el estudio de la composición de las fachadas.

COMPOSICIÓN DE LOS CERRAMIENTOS MULTICAPA

UNIVERSIDAD: Universidad Politécnica de Madrid

TIPO: Cerramiento Vertical tipo 1

COMPOSICIÓN DEL CERRAMIENTO:

DETALLE

CAPA 1 (Ext.): 8 mm Panel Madera de alta densidad PRODEMA

CAPA 2: 40 mm Cámara de aire ventilada

CAPA 3: Aislamiento térmico reflectivo Polynum 1 Optimizer

CAPA 4: 4,5 cm Panel de aislamiento rígido de poliuretano

CAPA 5: Barrera de vapor Tyvek

CAPA 6: 1,6 cm Panel de OSB ignífugo

CAPA 7: 14 cm Steel frame + 10 cm Aislamiento de fibra natural

CAPA 8: Vapor retarder

CAPA 9: 1,6 cm Panel de OSB ignífugo

CAPA (Int.): Acabado final: Panel de almedra o textil

NOTAS: Diferente cerramiento en baño y cocina

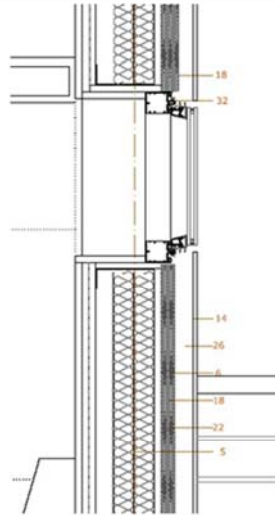


Imagen 8. Ficha composición cerramiento vertical UPM

COMPOSICIÓN DE LOS CERRAMIENTOS MULTICAPA

UNIVERSIDAD: Team Montreal (École de Technologie Supérieure, Université de Montréal, McGill University)

TIPO: Cerramiento Vertical tipo 1

COMPOSICIÓN DEL CERRAMIENTO:

DETALLE

CAPA 1 (Ext.): 3/4" acabado de madera (Norte, Este, Oeste)

CAPA 2: Estructura sujeción acabado final

CAPA 3: 6 1/2" Aislamiento de espuma de poliuretano

CAPA 4: Lámina metálica

CAPA 5: 4" pilar de acero

CAPA 6: Estructura auxiliar metálica @16" C/C

CAPA 7: 5/8" Paneles madera prensada

CAPA 8:

CAPA 9:

CAPA (Int.): Acabado textil

NOTAS: Ubicación fachada Norte, Este y Oeste

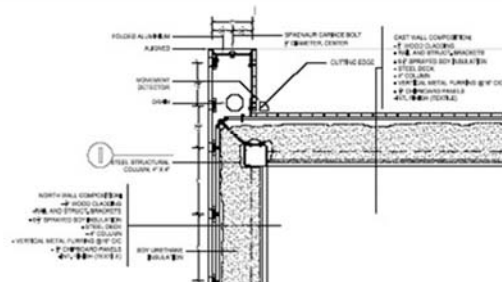


Imagen 9. Ficha composición cerramiento vertical Montreal

COMPOSICIÓN DE LOS CERRAMIENTOS MULTICAPA

UNIVERSIDAD: *University of Illinois at Urbana-Champaign*

TIPO: Cerramiento Vertical tipo 1

COMPOSICIÓN DEL CERRAMIENTO:

DETALLE

CAPA 1 (Ext.): 1" x 10' paneles de cedro

CAPA 2: Barrera de vapor

CAPA 3: 1/2" tablero de OSB

CAPA 4: 2' x 6" estructura @ 24" O.C + 4" Aislamiento de po-

7/16" tablero de OSB

CAPA 5:

CAPA 6: 1/2" Drywall

CAPA 7:

CAPA 8:

CAPA 9:

CAPA (Int.): Acabado con pintura (AFM Safecoat)

NOTAS:

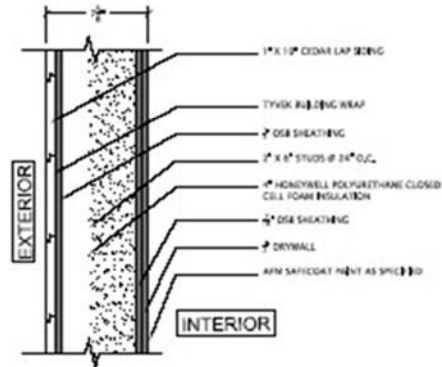


Imagen 10. Ficha composición cerramiento vertical Illinois

IV. ANÁLISIS TÉRMICO

Se realiza con una cámara termográfica la ThermaCAM™ P25, que es una cámara de infrarrojos robusta y compacta capaz de producir imágenes totalmente radiométricas para que pueda medir la temperatura de objetos sin contacto.

La cámara ThermaCAM P25 captura imágenes a una velocidad de 50 Hz y puede explorar objetos en movimiento. Ligera y portátil, la cámara termográfica detecta, verifica y documenta una extensa gama de problemas de mantenimiento predecibles.

El software utilizado para el análisis térmico es el ThermaCAM™ Researcher, ya que hace un análisis en tiempo real.

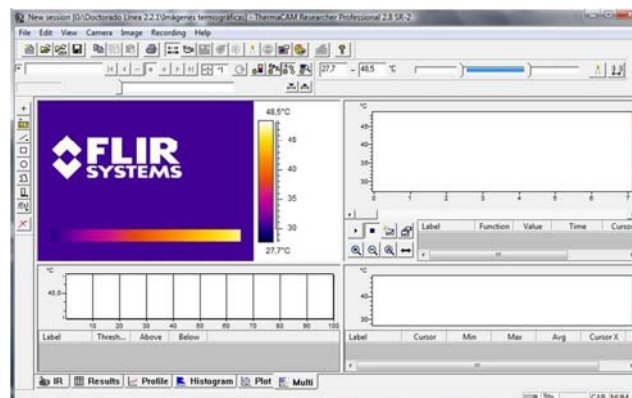


Imagen 11. Espacio trabajo ThermaCAM

Utilizando el software ThermaCAM, en cada imagen termográfica de los prototipos (para este artículo sólo se estudiará la fachada sur) se colocan 2 líneas que miden la temperatura superficial de los cerramientos. A su vez, el programa genera una serie de información como un análisis de datos, histogramas, perfiles,... A continuación, las fichas con la información térmica.

UNIVERSIDAD: Technische Universität Darmstadt

Fachada Sur

DATOS (DOE):

Hora: 17 Octubre 2007
Rango Temperatura Interior °C: 22,2 - 24,4 Rango Humedad Relativa Int. %: 40 - 55
Temperatura Interior °C: 23,6 H.R. Interior %: 58,88
Temperatura Exterior °C: 18,1 H.R. Exterior %: 82,3

20071017.F.Sur.Darmstadt.jpg

P25 PAL image from 17/10/2007 8:26:33,559

Análisis de Datos

Label	Value [°C]	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev	Result	Expression
Image	14,2	10,3	22,9	12,6	17,0	0,8		
LI01	13,7	10,9	7,2	15,6	1,0			

Position

Label	Pos X1	Pos Y1	Pos X2	Pos Y2	Radius
LI01	248	66	248	173	
LI02	92	66	92	160	

Object Parameters

Label	Emis.	Distance	Ref. Temp.	Atm. Temp.	Atm. Trans.	Hum.	Ext. Opt. Temp.	Ext. Opt. Trans.
Image	0,960	8,0 m	20,0	20,0	0,99	30%	20,0	1,00

Image

Name	Value
Date	17/10/2007
Time	8:26:33
File name	20071017.F.Sur.Darmstadt.jpg
Title	20071017.F.Sur.Darmstadt.jpg
Type	P25 PAL
Serial number	23403595
Lens	24
Filter	NOF

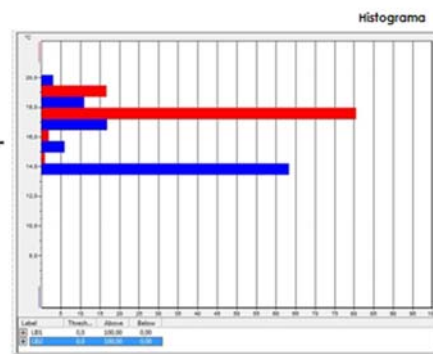
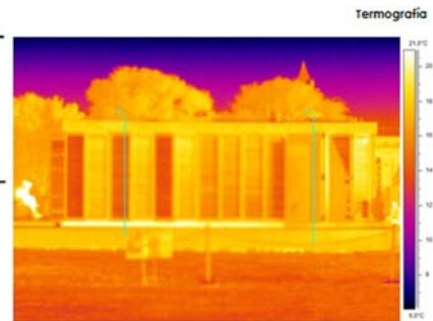
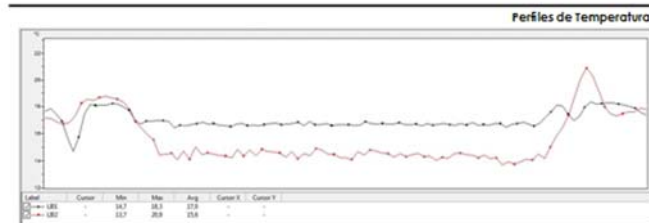


Imagen 12. Ficha análisis térmico Darmstadt

UNIVERSIDAD: University of Maryland

Fachada Sur

DATOS (DOE):

Hora: 17 Octubre 2007
Rango Temperatura Interior °C: 22,2 - 24,4 Rango Humedad Relativa Int. %: 40 - 55
Temperatura Interior °C: 24,11 H.R. Interior %: 52
Temperatura Exterior °C: 18,44 H.R. Exterior %: 79,7

20071017.F.Sur.Maryland.jpg

P25 PAL image from 17/10/2007 8:39:05,999

Análisis de Datos

Label	Value [°C]	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev	Result	Expression
Image	1,9	36,2	36,3	0,1	19,8	4,4		
LI01	3,6	26,8	23,2	19,8	4,4			
LI02	4,6	33,1	28,6	24,7	9,0			

Position

Label	Pos X1	Pos Y1	Pos X2	Pos Y2	Radius
LI01	267	31	267	213	
LI02	151	182	152	52	

Object Parameters

Label	Emis.	Distance	Ref. Temp.	Atm. Temp.	Atm. Trans.	Hum.	Ext. Opt. Temp.	Ext. Opt. Trans.
Image	0,960	8,0 m	20,0	20,0	0,99	30%	20,0	1,00

Image

Name	Value
Date	17/10/2007
Time	8:39:05
File name	20071017.F.Sur.Maryland.jpg
Title	20071017.F.Sur.Maryland.jpg
Type	P25 PAL
Serial number	23403595
Lens	24
Filter	NOF

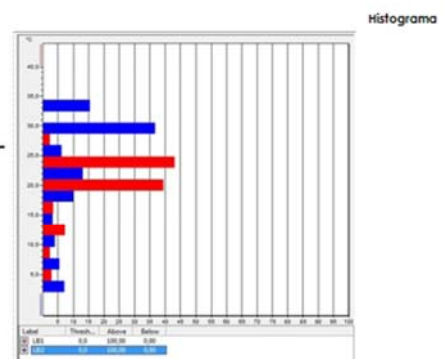
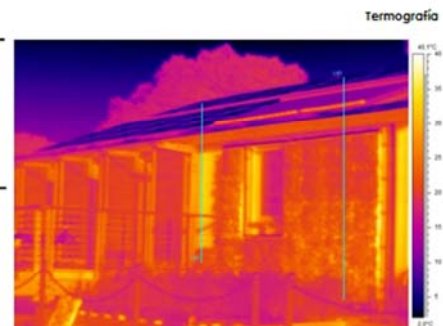
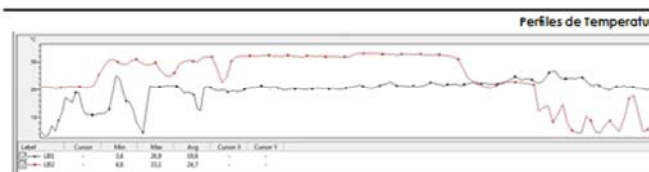


Imagen 13. Ficha análisis térmico Maryland

UNIVERSIDAD: Universidad Politécnica de Madrid

Fachada Sur

DATOS (DOE):

Hora: Día: 17 Octubre 2007
Rango Temperatura Interior  C: 22,2 - 24,4 Rango Humedad Relativa Int.  : 40 - 55
Temperatura Interior  C: 23,2 H.R. Interior  : 57,59
Temperatura Exterior  C: 18,1 H.R. Exterior  : 82,3

20071017.F.Sur UPM.jpg

P25 PAL image from 17/10/2007 8:33:02.789

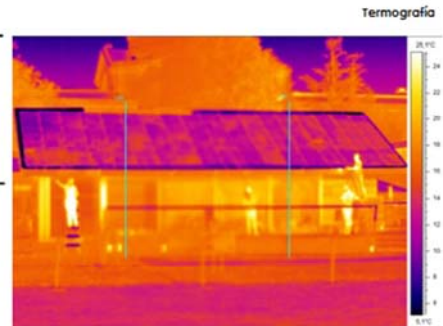
Label	Value [�C]	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev	Result	Expression
Image		-0.3	28.4	28.7				
L01		6.8	19.9	13.0	15.8	3.1		
L02		9.2	18.6	9.4	15.8	2.4		

Position	Label	Pos X1	Pos Y1	Pos X2	Pos Y2	Radius
L01	224	52	224	180		
L02	91	53	91	180		

Object Parameters	Label	Emiss.	Distance	Ref. Temp.	Atm. Temp.	Atm. Trans.	Hum.	Ext. Opt. Temp.	Ext. Opt. Trans.
Image	0.960	8.0 m		20.0	20.0	0.99	30%	20.0	1.00

Image	Name	Value
Date	17/10/2007	
Time	8:33:02	
File name	20071017.f.sur upm.jpg	
Title	20071017.f.sur upm.jpg	
Type	P25 PAL	
Serial number	23403595	
Lens	24	
Filter	NOF	

Análisis de Datos



Histograma

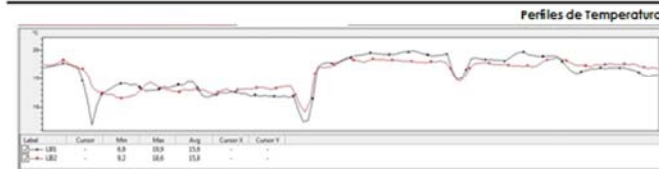
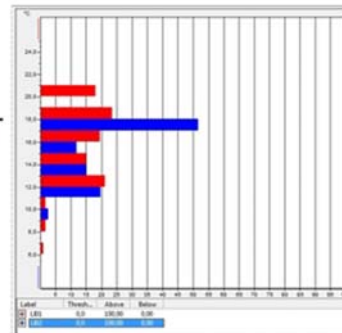


Imagen 14. Ficha análisis térmico UPM

UNIVERSIDAD: Team Montreal ( cole de Technologie Supérieure, Universit  de Montréal, McGill University)

Fachada Sur

DATOS (DOE):

Hora: Día: 17 Octubre 2007
Rango Temperatura Interior  C: 22,2 - 24,4 Rango Humedad Relativa Int.  : 40 - 55
Temperatura Interior  C: 22,4 H.R. Interior  : 62,53
Temperatura Exterior  C: 18,4 H.R. Exterior  : 79,7

20071017.F.Sur.Montreal.jpg

P25 PAL image from 17/10/2007 8:44:19.869

Label	Value [�C]	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev	Result	Expression
Image		1.5	40.6	39.1				
L01		6.6	25.9	19.3	18.0	4.5		
L02		6.9	34.8	27.9	19.0	7.2		

Position	Label	Pos X1	Pos Y1	Pos X2	Pos Y2	Radius
L01	227	19	227	230		
L02	88	38	88	224		

Object Parameters	Label	Emiss.	Distance	Ref. Temp.	Atm. Temp.	Atm. Trans.	Hum.	Ext. Opt. Temp.	Ext. Opt. Trans.
Image	0.960	8.0 m		20.0	20.0	0.99	30%	20.0	1.00

Image	Name	Value
Date	17/10/2007	
Time	8:44:19	
File name	20071017.f.sur montreal.jpg	
Title	20071017.f.sur montreal.jpg	
Type	P25 PAL	
Serial number	23403595	
Lens	24	
Filter	NOF	

Análisis de Datos



Histograma

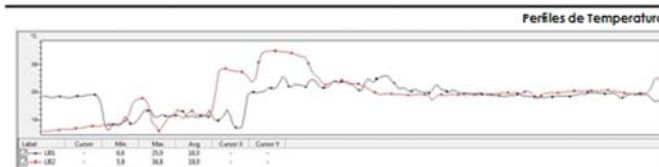
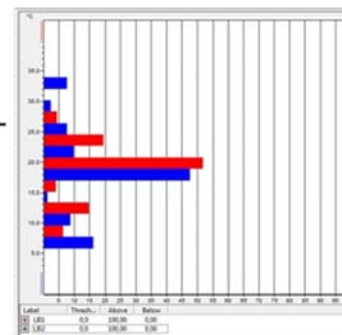


Imagen 15. Ficha análisis térmico Montreal

UNIVERSIDAD: University of Illinois at Urbana-Champaign

Fachada Sur

DATOS (DOE):

Hora: Día: 17 Octubre 2007
Rango Temperatura Interior  C: 22.2 - 24.4 Rango Humedad Relativa Int.  : 40 - 55
Temperatura Interior  C: 22.84 H.R. Interior  : 55.34
Temperatura Exterior  C: 18.06 H.R. Exterior  : 82.3

20071017.F.Sur.Illinois.jpg

P25 PAL image from 17/10/2007 8:21:53.859

Análisis de Datos

Label	Value [�C]	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev	Result	Expression
Image	4.1	30.8	26.7					
LO1	8.9	20.6	11.8	18.3	4.4			
LO2	9.2	20.0	10.8	15.8	3.8			

Position	Label	Pos X1	Pos Y1	Pos X2	Pos Y2	Radius
LO1	249	74	249	160		
LO2	47	79	47	175		

Object Parameters	Label	Emis.	Distance	Ref. Temp.	Atm. Temp.	Atm. Trans.	Hum.	Ext. Opt. Temp.	Ext. Opt. Trans.
Image	0.960	8.0 m	20.0	20.0	0.99	30%	20.0		1.00

Image	Name	Value
Date	17/10/2007	
Time	8:21:53	
File name	20071017.F.Sur.Illinois.jpg	
Title	20071017.F.Sur.Illinois.jpg	
Type	P25 PAL	
Serial number	23405595	
Lens	24	
Filter	NCF	

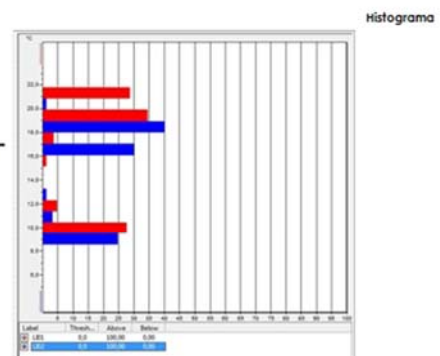
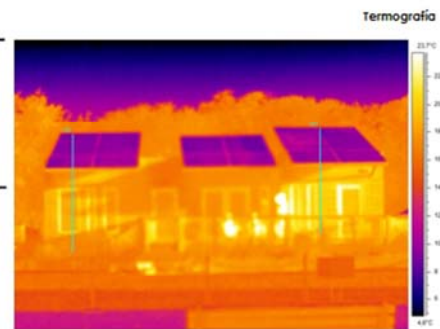
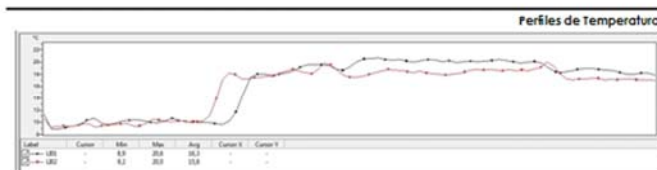
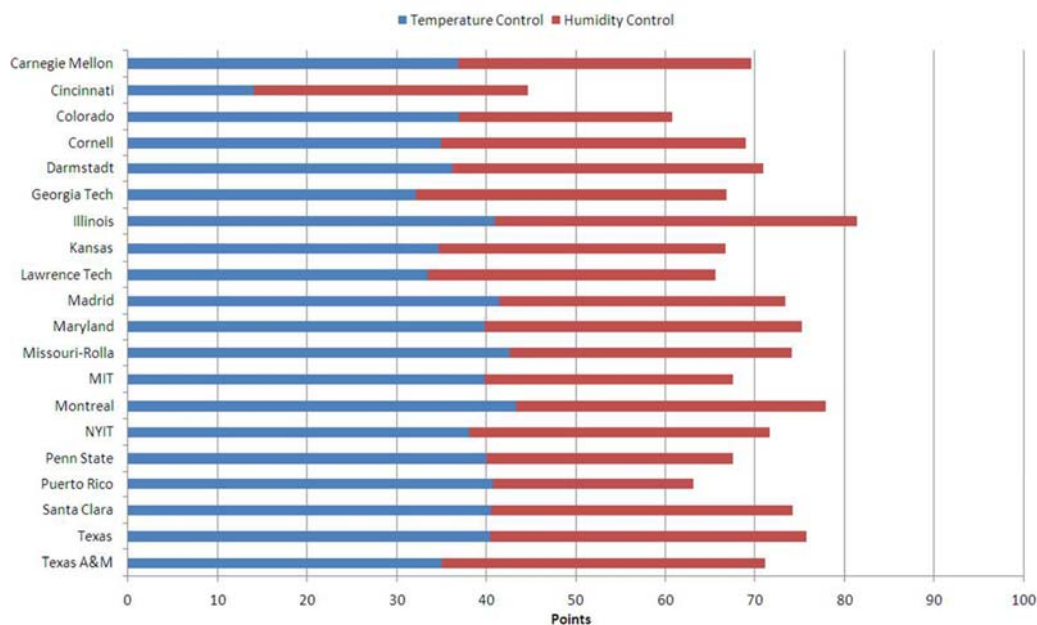


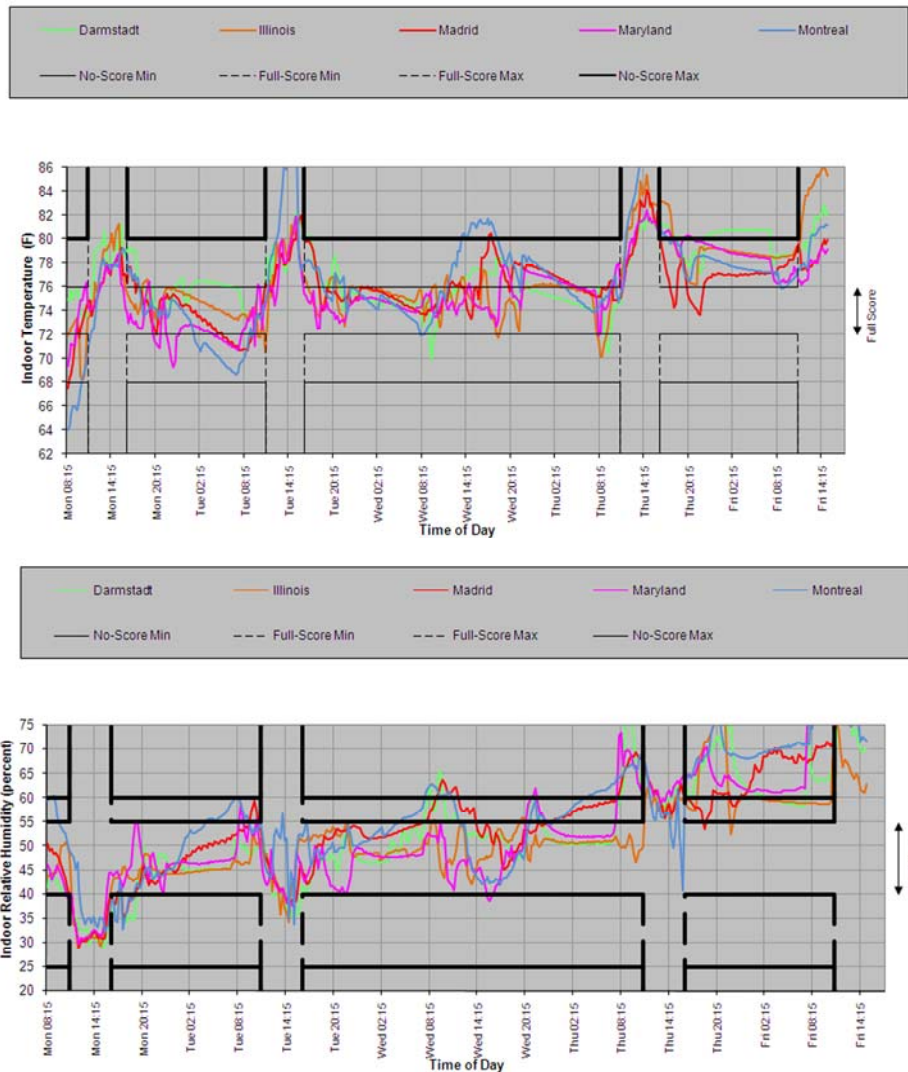
Imagen 16. Ficha análisis térmico Illinois

Comportamiento de los prototipos

El Departamento de Energía de Estados Unidos, durante todo el concurso tom  datos sobre el confort interno de las casas, para ello usaron sensores de temperatura y de humedad relativa. Estos datos generan unas gráficas que a continuación se describen, en donde se puede observar el comportamiento de cada una de las casas durante los cinco días de la competición.



Gráfica 2. Resultados finales prueba confort



Gráfica 3. Comportamiento higrotérmico interior

V. CONCLUSIONES

La composición de los cerramientos es variada, presentándose el caso de que unas casas tienen más capas que otras, lo cual no significa que tengan los mejores resultados energéticos. No obstante, todo depende de numerosas variables, como por ejemplo de cómo se realiza la construcción, las propiedades de los materiales, la correcta ubicación de los mismos, entre otros.

El cerramiento multicapa ligero presenta una serie de ventajas, en las cuales se encuentra la **Construcción seca**, generando plazos constructivos más rápidos. Es **Ligera**, disminuye cargas del edificio. **Ahorro de energía**, mejora las condiciones de confort, lo que se traduce en ahorro en el consumo energético y económico.

Otro principio que debería regir esta nueva construcción de cerramientos sería, además de la ligereza, la tipificación sistemática de los elementos que permita la **industrialización** y **fabricación** en serie.

VI. BIBLIOGRAFÍA

GARÍ, Joan y SOTO, Santiago. Cerramientos Verticales - Fachadas. Grupo Editorial CEAC. 2002. ISBN 84-329-1271-9

GONZALO, Roberto and HABERMANN, Karl. Energy-Efficient Architecture. Basics for planning and construction. 2006

GRANADOS MENÉNDEZ, Helena. Principios y estrategias del diseño bioclimático en la arquitectura y el urbanismo. Eficiencia Energética. Monografías CATS Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España. 2006. ISBN 84-932-7117-9

MONJO, Juan y OTROS. Tratado de Construcción. Sistemas. Editorial Munilla-Lería. 2002. ISBN 84-89150-45-1

Tectónica. Envolventes (I). Fachadas Ligeras. Enero-Abril 1996. ISSN 1136-0062

Web:

<http://www.cener.com/es/index.asp>

<http://www.solardecathlon.org/>

www.energiasrenovables.ciemat.es